

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 726 144

②1 N° d'enregistrement national :

94 12781

⑤1 Int Cl⁶ : H 04 N 5/30

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 24.10.94.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : 26.04.96 Bulletin 96/17.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : VALEO VISION SOCIETE
ANONYME — FR.

⑦2 Inventeur(s) : ALBOU PIERRE.

⑦3 Titulaire(s) :

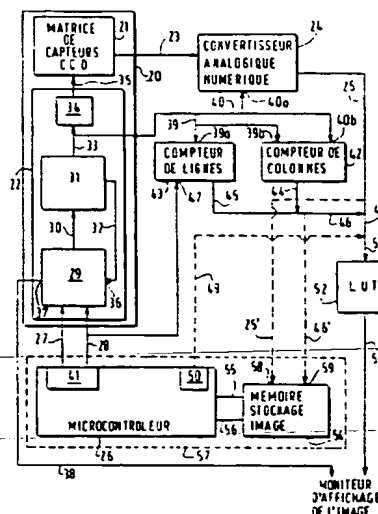
⑦4 Mandataire : VALEO MANAGEMENT SERVICES.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF D'AMÉLIORATION DE LA VISION NOCTURNE, NOTAMMENT POUR VEHICULE
AUTOMOBILE.

⑤7 L'invention concerne un procédé d'amélioration de la
vision nocturne, notamment pour véhicule automobile,
consistant, au moyen d'un système de prise de vue sensi-
ble aux rayonnements visibles et non visibles, à saisir une
image de la chaussée, éclairée par des projecteurs émet-
tant dans les domaines du rayonnement visible et/ou de
l'invisible, ladite image étant constituée de pixels, points
élémentaires ayant chacun un niveau de gris, et à appli-
quer à ladite image une LUT, loi de transformation des ni-
veaux de gris, caractérisé en ce que au moins deux lois de
transformation différentes sont appliquées à des groupes
de pixels distincts de l'image.

L'invention concerne également un dispositif pour la
mise en oeuvre du procédé d'amélioration de la vision noc-
turne décrit précédemment.

Application à l'aide à la vision nocturne pour les véhicu-
les automobiles.



FR 2 726 144 - A1



La présente invention se rapporte à un procédé et un dispositif d'amélioration de la vision nocturne, notamment pour véhicule automobile.

5 Il a en effet été constaté que les projecteurs à longue portée, dits généralement feux de route, sont en pratique très peu utilisés car leur usage est limité aux routes très peu fréquentées en raison de leur caractère éblouissant.

10 D'autre part, les feux de croisement ayant une portée volontairement limitée, ils ne permettent de distinguer nettement que les obstacles proches du véhicule, ce qui laisse très peu de temps au conducteur pour réagir et entreprendre une manoeuvre d'évitement.

15 Il a donc déjà été proposé, notamment dans le document EP-A-0 505 237, des systèmes d'aide à la vision nocturne comportant des projecteurs émettant des rayonnements de longueur d'onde non visibles (infrarouge ou ultraviolet), ainsi que des caméras sensibles à ces rayonnements et recueillant les images de l'environnement
20 du véhicule, ces images étant visualisées en temps réel dans le véhicule par le conducteur.

Il est également connu, notamment par le document EP-A-0 454 516, de combiner l'image provenant d'une caméra sensible aux rayonnements infrarouges à celle provenant
25 d'une caméra fonctionnant dans le domaine du rayonnement visible, pour former une image unique.

Cependant, ce type d'image de paysage nocturne offre une perception assez peu naturelle de l'environnement et présente des zones de contraste et
30 d'intensité très variables.

On sait par ailleurs que, d'une manière générale, les capteurs CCD (dispositifs à couplage de charge), utilisés dans les caméras des systèmes d'aide à la vision, donnent des images qui ne sont pas fidèles à la perception
35 visuelle naturelle du paysage. En effet, la perception des

contrastes par l'oeil humain est plutôt logarithmique alors que les capteurs CCD sont sensiblement linéaires.

5 Ce défaut des capteurs CCD est habituellement corrigé en appliquant au signal issu desdits capteurs une table de conversion des niveaux de gris, dite LUT (de l'anglais Look-up Table).

Ce principe peut également être appliqué pour améliorer le contraste des images de paysage nocturne comme cela est mentionné dans le document EP-A-0 454 516.

10 Mais ces traitements donnent des résultats assez peu satisfaisants du fait de la nature des images de paysage nocturne qui sont très sombres dans les zones non éclairées par les projecteurs du véhicule et très claires dans les zones de l'image éclairées.

15 Un but principal de la présente invention est de résoudre les problèmes précités.

A cet effet, la présente invention a pour objet un procédé et un dispositif d'amélioration de la vision nocturne, notamment pour véhicule automobile, exempt des
20 inconvénients de la technique antérieure.

Le procédé d'amélioration de la vision nocturne, notamment pour véhicule automobile, selon l'invention, consiste, au moyen d'un système de prise de vue sensible aux rayonnements visibles et non visibles, à saisir une
25 image de la chaussée, éclairée par des projecteurs émettant dans les domaines du rayonnement visible et de l'invisible, ladite image étant constituée de pixels, points élémentaires ayant chacun un niveau de gris, et à appliquer à ladite image une LUT, loi de transformation
30 des niveaux de gris. Il se caractérise notamment en ce que au moins deux lois de transformation différentes sont appliquées à des groupes de pixels distincts de l'image.

Grâce au procédé selon l'invention, un traitement spécifique peut être appliqué aux différentes zones de
35 contraste et de luminosité très différents que l'on peut

rencontrer dans une image de paysage nocturne éclairé par les projecteurs d'un véhicule, de manière à obtenir, après ledit traitement, une image proche de la perception naturelle humaine.

5 Selon un autre aspect de l'invention, la chaussée est éclairée, d'une part par au moins un projecteur émettant dans le domaine du rayonnement visible, et d'autre part par au moins un projecteur émettant dans le domaine du rayonnement infrarouge, le système de prise de
10 vue comportant des moyens de saisie sensibles au domaine spectral du visible et à celui de l'infrarouge.

Le système de prise de vue infrarouge permet de détecter des objets dans des zones non éclairées habituellement par les projecteurs de croisement du
15 véhicule.

Dans une variante de l'invention, on peut également utiliser un projecteur émettant dans le domaine de l'ultraviolet associé à un moyen de saisie sensible au domaine spectral de l'ultraviolet.

20 Selon une autre caractéristique de l'invention, une loi de transformation des niveaux de gris spécifique est appliquée à chaque ligne de l'image saisie.

Grâce à cette caractéristique, les limites des zones traitées ne sont pas visible dans l'image obtenue
25 après le traitement selon l'invention.

Selon une autre caractéristique de l'invention, une loi de transformation des niveaux de gris spécifique est appliquée à chaque pixel de l'image saisie.

30 Selon un autre aspect de l'invention, la loi de transformation associe, à chaque niveau de gris g d'un pixel de l'image saisie, un niveau de gris g' tel que:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) (1 - e^{-k(x,y)g}) \text{ ou}$$

$g' = 1$ si le résultat précédent est supérieur à 1,
où x et y sont les coordonnées du pixel dans l'image et où
35 $G(x,y)$ et $k(x,y)$ sont des paramètres caractérisant ladite

transformation et dépendant des coordonnées x et y du pixel en lequel celle-ci est appliquée.

Ainsi, un traitement spécifique à chaque pixel de l'image est appliqué.

5 Selon un autre aspect de l'invention, la loi de transformation associe, à chaque niveau de gris g d'un pixel de l'image saisie, un niveau de gris g' tel que:

$$g' = h(g, y) = S(y) (1 - e^{-t(y)g}) \text{ ou}$$

10 $g' = 1$ si le résultat précédent est supérieur à 1, où y est l'ordonnée du pixel dans l'image et où S(y) et t(y) sont des paramètres caractérisant ladite transformation et dépendant de l'ordonnée y du pixel en lequel celle-ci est appliquée.

15 Ainsi, un traitement spécifique à chaque ligne est appliqué.

20 Selon une autre caractéristique de l'invention, la loi de transformation des niveaux de gris dépend d'un paramètre de réglage, ledit paramètre étant indépendant des coordonnées du pixel en lequel ladite loi de transformation est appliquée.

25 L'invention concerne également un dispositif d'amélioration de la vision nocturne pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des caractéristiques décrites précédemment, du type comprenant une caméra munie de capteurs CCD et d'un module de pilotage desdits capteurs. Le dispositif est notamment caractérisé en ce qu'il comporte une mémoire contenant toutes les valeurs possibles, prédéterminées, de la loi de transformation des niveaux de gris.

30 Selon un autre aspect de l'invention, l'adresse de stockage de chaque valeur g', image par la transformation h d'un niveau de gris g d'un pixel situé aux coordonnées x et y de l'image, est formée par la concaténation des signaux numériques suivants:

35 - le niveau de gris g du pixel, et

- l'ordonnée y dudit pixel.

Selon un autre aspect de l'invention, ladite adresse intègre dans sa formation l'abscisse (x) dudit pixel.

- 5 Selon un autre aspect de l'invention, ladite adresse intègre dans sa formation un paramètre de réglage de ladite transformation.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention:

- 10 - ledit dispositif comporte un circuit compteur de lignes délivrant, pour chaque pixel de l'image, l'ordonnée dudit pixel.

- ledit dispositif comporte en outre un circuit compteur de colonnes délivrant, pour chaque pixel de l'image, l'abscisse (x) dudit pixel.

- 15 - ledit dispositif comporte un microcontrôleur délivrant le paramètre de réglage de la transformation.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit de plusieurs modes de réalisations possibles de l'invention en se référant aux dessins annexés parmi lesquels:

20

- la figure 1 représente schématiquement une image du paysage nocturne éclairé par les projecteurs d'un véhicule émettant dans le domaine du rayonnement visible et dans celui de l'infrarouge;

- 25 - la figure 2 représente une transformation des niveaux de gris de l'image de la figure 1 conforme à un mode de réalisation possible de l'invention;

- la figure 3 illustre schématiquement un premier mode de réalisation de l'invention;

- 30 - les figures 4a, 4b et 4c illustrent le principe du calcul d'un nouveau niveau de gris par une LUT selon le premier mode de réalisation de l'invention

- la figure 5 illustre schématiquement les zones de traitement d'une image du paysage nocturne, éclairé par les projecteurs d'un véhicule, selon un deuxième mode de

35

réalisation de l'invention;

- la figure 6 illustre schématiquement un deuxième mode de réalisation de l'invention.

5 Sur la figure 1, on a représenté l'image 1 du paysage nocturne éclairé par les projecteurs d'un véhicule, telle qu'elle peut être recueillie par la caméra d'un système d'aide à la vision, connu en soi.

10 Une telle image est composée d'un certain nombre de pixels, points élémentaires de l'image, qui sont repérés par leur coordonnées d'abscisse x et d'ordonnée y et qui ont chacun un niveau de gris propre g.

En pointillés, on a figuré la voie 2 sur laquelle se déplace le véhicule, bordée sur sa gauche d'une zone plane 3 et sur sa droite d'un talus 4.

15 On peut distinguer dans cette image quatre zones de contraste et d'intensité variables. La zone A est la plus proche du véhicule et la mieux éclairée par les projecteurs de croisement. Cette zone est claire et fortement contrastée, elle est donc peu intéressante pour
20 les systèmes d'aide à la vision car les obstacles potentiels présents dans cette zone sont nettement visibles à l'oeil nu.

La zone B correspond à la limite de portée des projecteurs de croisement. Cette zone est donc sombre et
25 faiblement contrastée. Il est à noter que la ligne 5 de limite entre les zones A et B ne présente pas la même forme sur la gauche de l'image, correspondant à une partie plane 3 du bord de la voie 2, que sur la droite de l'image correspondant à un talus 4 situé sur l'autre bord de la
30 voie 2.

La zone C correspond à la zone qui est éclairée par le rayonnement infrarouge. Elle est sombre mais elle
peut être plus contrastée que la zone B en présence d'obstacles. Cette zone est également celle qui est
35 éclairée par les feux de route à longue portée lorsque

ceux-ci sont actionnés. La ligne 6 de limite entre les zones B et C a sensiblement la même forme que la ligne 5 de limite entre les zones A et B.

5 La zone D est la plus éloignée du véhicule et elle n'est jamais éclairée ni par les projecteurs de croisement ni par les feux de route car elle est d'un faible intérêt pour la conduite. Elle correspond en effet sensiblement, dans le paysage, au ciel, et à tout ce qui est en dehors de la chaussée sur laquelle se déplace le véhicule. Elle
10 est donc très sombre et il peut y avoir un bruit important dans le signal délivré par la caméra pour les points de l'image situés dans cette zone.

La ligne de limite 7 entre les zones C et D suit sensiblement les lignes de fuite vers l'horizon de la voie
15 2 avec un décalage sensible vers la droite de ladite voie.

Dans l'image ainsi décrite de la figure 1 il existe donc deux zones B et C qu'il est intéressant de traiter afin d'en augmenter le contraste et la luminosité, car une détection anticipée des obstacles présents dans
20 ces zones peut permettre au conducteur d'effectuer d'éventuelles manoeuvres d'évitements de manière plus efficace.

L'image 1 de la figure 1 peut donc être segmentée en zones (A, B, C et D) d'intérêt variable et comme le
25 contraste et la luminosité sont très différents dans chacune de ces zones, un traitement selon l'invention consiste à appliquer des LUT spécifiques à chaque zone de l'image pour en améliorer la perception par le conducteur.

Il se peut toutefois que les LUT les mieux
30 adaptées aux différentes zones soient sensiblement différentes les unes des autres, et que l'application du traitement décrit ci-dessus à une image comme celle de la figure 1 fasse apparaître des limites entre les zones traitées.

35 Dans ce cas, pour que les limites entre les zones

ne soient pas visibles, le traitement selon l'invention peut être appliqué sur des groupes de pixels de taille plus petites que les zones A, B, C et D précédemment décrites, en particulier on peut appliquer une LUT
 5 spécifique à chaque pixel de l'image par exemple.

Sur la figure 2, on a représenté la courbe 8 de transformation des niveaux de gris d'une LUT selon un exemple de réalisation de l'invention.

Cette LUT transforme un niveau de gris g , compris
 10 dans l'exemple de réalisation entre 0 et 1, d'un pixel situé aux coordonnées (x,y) de l'image, en un niveau de gris:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) (1 - e^{-k(x,y)g}) \text{ ou}$$

$$g' = 1 \text{ si le résultat précédent est supérieur à 1,}$$

15 où $G(x,y)$ et $k(x,y)$ sont des paramètres qui caractérisent la transformation f et qui, selon l'invention, dépendent des coordonnées (x,y) du pixel sur lequel on applique ladite transformation.

Ce type de transformation f , représentée par la
 20 courbe 8, réalise une correction logarithmique de l'image en rehaussant davantage le contraste dans les zones sombres que dans les zones claires, ce qui donne à ladite image un aspect plus proche de la perception naturelle de l'oeil humain.

25 La dérivée de la fonction f par rapport à g ,

$$\frac{df}{dg} = k(x,y)G(x,y)e^{-k(x,y)g},$$

caractérise la modification du contraste de l'image.

Sur la figure 2, on a représenté une droite 9, qui est tangente à la courbe 8 à l'origine $(0,0)$ du repère, et
 30 a une pente $k(x,y)G(x,y)$ qui correspond à la dérivée de f par rapport à g à l'origine, c'est à dire pour $g=0$.

Cette droite 9 présente une pente supérieure à 1, ce qui signifie que, dans les zones sombres de l'image (celles qui ont des niveaux de gris proche de 0), le

contraste est augmenté par la transformation f .

Une deuxième droite 10, tangente à la courbe 8 en 11, pour un niveau de gris correspondant g_1 , a une pente (dérivée de f par rapport à g pour $g=g_1$) égale à 1, ce qui signifie que, dans les zones de l'image ayant un niveau de gris égal à g_1 , les contrastes ne sont pas modifiés par la transformation f .

Une troisième droite 12, tangente à la courbe 8 en 13, ce qui correspond au niveau de gris $g=1$, présente une pente (dérivée de f par rapport à g pour $g=1$) très inférieure à 1, ce qui signifie que, dans les zones plus claires de l'image (celles dont les niveaux de gris sont proches de 1), le contraste est atténué par la transformation f .

Les paramètres $G(x,y)$ et $k(x,y)$ dépendant des coordonnées (x,y) du pixel sur lequel on applique la LUT, une transformation f spécifique peut être appliquée en chaque pixel de l'image, dont les paramètres $G(x,y)$ et $k(x,y)$ caractérisent l'amélioration du contraste pour les niveaux de gris sombres et déterminent le niveau de gris g_1 à partir duquel le contraste est atténué.

Bien entendu, ces paramètres peuvent être identiques pour plusieurs pixels de l'image situés à des coordonnées x et y différentes, de manière à effectuer des corrections spécifiques à des groupes de pixels de l'image.

Ainsi, selon l'invention, la correction des niveaux de gris ne se fait pas de manière uniforme sur toute l'image mais elle est spécifique à chaque pixel ou groupe de pixels de manière à optimiser ladite correction suivant le contraste et la luminosité dudit pixel ou groupe de pixels.

A la figure 3, on a représenté un mode de réalisation de la transformation f décrite ci-dessus.

On n'a représenté sur ce schéma que les liaisons

utiles à la compréhension de l'invention. Les connexions aux alimentations et aux broches de configuration des processeurs par exemple n'ont pas été mentionnées.

5 Une caméra 20 munie d'une matrice de capteurs CCD 21, par exemple de taille 256x256 pixels, est contrôlée par un module de pilotage 22 des capteurs CCD.

10 Ladite caméra 20 délivre un signal vidéo analogique 23 qui contient les niveaux de gris analogiques des pixels de l'image saisie et qui est dirigé vers l'entrée d'un convertisseur analogique - numérique (CAN) 24, ledit convertisseur fournissant à sa sortie un signal numérique 25 contenant les niveaux de gris g, numérisés sur k bits.

15 Si le capteur CCD est de taille 256x256 pixels et qu'il fonctionne à la cadence vidéo de 25 images par seconde, la fréquence d'arrivée des niveaux de gris dans le convertisseur 24 est supérieure ou égale à 1,6 MHz. Il faut donc ensuite un processeur de signal numérique qui puisse travailler avec un tel débit de données.

20 Les processeurs de signaux numériques DSP (de l'anglais Digital Signal Processor, ou processeur de signal numérique) sont capables de travailler à des cadences supérieures à 1,6 MHz et dans une variante de l'invention non représentée, un tel processeur pourra être
25 utilisé pour réaliser la transformation f par l'intermédiaire d'un programme implanté dans ledit processeur.

30 Dans le cas de la figure 3, la transformation f est réalisée en logique câblée ce qui permet d'utiliser un processeur plus lent et donc beaucoup moins coûteux, tel que le microcontrôleur 26.

~~Ledit microcontrôleur 26 travaillant à une cadence~~
plus lente que celle fournie classiquement par une caméra à capteurs CCD, il est adapté à contrôler ladite caméra et
35 à travailler sur des trames d'images mémorisées à plus faible cadence.

Le microcontrôleur 26 fournit, à partir d'une sortie 41, un signal 27 commandant le temps d'ouverture de la caméra et un signal 28 donnant un top de lecture des capteurs CCD à chaque image, lesdits signaux 27, 28 étant dirigés vers l'entrée d'un premier module de commande 29 du pilote 22 des capteurs CCD.

Le module de commande 29 a une sortie 30 dirigée vers l'entrée d'un générateur de signaux d'horloge 31, ledit générateur retournant des tops d'horloge au module de commande 29 par l'intermédiaire d'un signal 32, issu d'une sortie du générateur 31 et entrant par une entrée 36 dans le module de commande 29.

Ledit module de commande 29 présente également une sortie 37 délivrant des signaux de synchronisation vidéo 38, synchronisation de ligne et synchronisation de trame, lesdits signaux étant utilisés pour commander un moniteur d'affichage de l'image, une fois celle-ci traitée.

Le générateur de signaux d'horloge 31 présente une deuxième sortie fournissant des signaux d'horloge 33, lesdits signaux entrant dans un dernier module 34 du pilote des capteurs CCD 22. Ce module 34, dont la sortie est dirigée vers une entrée de la matrice de capteurs CCD 21, sert d'interface avec ladite matrice en effectuant, entre autres, une adaptation des niveaux d'impédances.

L'ensemble des modules 29, 31 et 34 précédemment décrits forment le pilote 22 des capteurs de la matrice 21.

Les signaux d'horloge 33 issus du générateur 31 se répartissent en deux types de signaux: un signal 39 présentant un front (montant ou descendant) à chaque nouvelle ligne de l'image, et un signal 40 présentant un front de commutation à chaque nouveau pixel d'une ligne.

Le signal d'horloge pixels 40 est relié à une entrée 40a du convertisseur analogique - numérique 24 et il permet de commander ledit convertisseur en fournissant

à ce dernier un top d'horloge à chaque nouveau pixel, ledit top d'horloge déclenchant la numérisation d'un pixel.

5 Le signal d'horloge pixels 40 est également relié à l'entrée 40b d'un circuit compteur de colonnes 42. Ce circuit reçoit un top d'horloge à chaque nouveau pixel et il incrémente, à chacun de ces tops, un compteur de colonnes. L'information du numéro de colonne permet de connaître la coordonnée d'abscisse x (en se référant à la
10 notation adoptée figure 1) de chaque pixel.

Le circuit compteur de colonnes 42 reçoit également, sur son entrée 39b, le signal d'horloge lignes 39, qui fournit un top d'horloge à chaque nouvelle ligne de l'image, ledit top d'horloge déclenchant la remise à
15 zéro du compteur de colonnes.

A la sortie du circuit compteur de colonnes 42, un signal 44 contenant l'abscisse x d'un pixel, numérisée sur m bits est délivré.

20 Le signal d'horloge lignes 39 est relié également à l'entrée 39a d'un circuit compteur de lignes 43. Ce circuit reçoit un top d'horloge à chaque nouvelle ligne de l'image et il incrémente, à chacun de ces tops, un compteur de lignes. Cette information sur le numéro de ligne permet de connaître la coordonnée d'ordonnée y (en se
25 référant à la notation adoptée à la figure 1) de chaque pixel.

Le circuit compteur de lignes 43 reçoit également, sur son entrée 47, le signal 28 issu du microcontrôleur 26, qui fournit un top d'horloge à chaque nouvelle image, ledit top d'horloge déclenchant la remise à zéro du
30 compteur de lignes.

A la sortie du circuit compteur de lignes 43, un signal 45 contenant l'ordonnée y d'un pixel, numérisée sur l bits est délivré.

35 Les signaux 44, contenant la coordonnée x sur m bits, et 45, contenant la coordonnée y sur l bits, sont

fusionnés, de manière connue, en un signal 46 formé par la concaténation des données x et y , et numérisé sur $m+1$ bits.

5 Le signal 46 est ensuite concaténé avec le signal 25, issu du convertisseur analogique - numérique 24 et contenant le niveau de gris g numérisé sur k bits, pour former un signal 48 contenant les données x , y et g numérisées sur $k+l+m$ bits.

10 Ledit signal 48 contient les informations g , x et y nécessaires à l'application de la transformation f des niveaux de gris décrite à la figure 2.

15 Cependant, un paramètre supplémentaire p , issu du microcontrôleur 26, peut être utilisé de manière à paramétrer la transformation f . Par exemple on peut appliquer un traitement différent dans le cas où l'image est prise au crépuscule et dans le cas où elle est prise pendant la pleine nuit.

20 Un signal 49, issu d'une sortie 50 du microcontrôleur 26, contient ledit paramètre p , numérisé sur n bits, et il vient se concaténer avec le signal 48 précédemment décrit pour former un signal 51 contenant les données g , x , y et p numérisées sur $k+m+l+n$ bits.

25 Ledit signal 51 est ensuite appliqué à l'entrée d'une LUT 52 qui transforme le niveau de gris g initial en un nouveau niveau de gris g' , suivant la transformation f précédemment décrite, ledit niveau de gris g' étant numérisé sur k' bits dans le signal de sortie 53 de la LUT 52.

30 Le principe du calcul du nouveau niveau de gris g' par la LUT 52 sera mieux compris en se reportant aux figures 4a à 4c.

35 Sur la figure 4a, on a représenté une image 60 telle qu'elle peut être obtenue par la matrice de capteurs CCD d'une caméra comme celle 20 décrite à la figure 3. Sur cette image on a figuré un pixel 61 particulier, situé

dans l'image au point de coordonnées (x,y) , et ayant un niveau de gris g .

A partir de ces données, on peut, selon l'enseignement de la figure 3, obtenir un signal 51 contenant les données g , x , y et p et numérisé sur $k+l+m+n$ bits.

Ledit signal 51 sert à former, pour chaque pixel de l'image, une adresse selon le tableau de la figure 4b, c'est à dire en concaténant les k bits du niveau de gris g dudit pixel avec les l bits de l'ordonnée y , les m bits de l'abscisse x et les n bits du paramètre p .

L'adresse ainsi formée est envoyée dans une mémoire 62 de type ROM (de l'anglais Read Only Memory, ou mémoire accessible seulement en lecture) représentée à la figure 4c. A l'adresse 63 correspondante de ladite mémoire est stockée la valeur de l'image par la transformation f (paramétrée par p) des données g , x , y , p contenues dans l'adresse, soit $f_p(g,x,y)=g'$.

La mémoire 62 est choisie de taille suffisante pour contenir les valeurs des images par la transformation f de toutes les combinaisons possibles de données g , x , y , p .

Le niveau de gris g' , numérisé sur k' bits, constitue le signal de sortie 53 de la LUT 52, en se référant à la figure 3.

Sur la figure 3 on a également représenté une mémoire de stockage d'image 54, ladite mémoire étant de type RAM (de l'anglais Random Access Memory, ou mémoire à accès aléatoire) et étant destinée à mémoriser les trames d'image de manière à ce que le microcontrôleur 26, fonctionnant à une cadence plus faible que celle du signal vidéo émis par la matrice des capteurs CCD 21, puisse travailler sur les trames d'images mémorisées à plus faible cadence.

Ladite mémoire d'image 54 reçoit sur son entrée 58

le signal 25 (représenté ici par le pointillé 25') contenant le niveau de gris g de chaque pixel tel qu'il est saisi par la matrice de capteurs CCD 21. Elle reçoit d'autre part, sur son entrée 59, le signal 46 (représenté
5 ici par le pointillé 46') contenant le numéro de ligne et de colonne dudit pixel, c'est à dire ses coordonnées x et y (suivant la notation de la figures 4a).

La mémoire 54 est de plus reliée au microcontrôleur 26 par l'intermédiaire d'un bus de données
10 55, véhiculant les niveaux de gris g de chaque pixel, et d'un bus d'adresses 56, véhiculant les numéros de ligne et de colonne dudit pixel.

A la sortie du circuit global décrit à la figure 3, on dispose du signal 53, contenant les niveaux de gris transformés g' numérisés sur k' bits, et des signaux de
15 synchronisation vidéo 38. Ces signaux 53, 38 peuvent être ensuite envoyés vers un moniteur d'affichage après une conversion numérique - analogique des niveaux de gris g' .

Dans une variante du mode de réalisation présenté
20 à la figure 3, on peut omettre le module 57, figuré en pointillés, en remplaçant le microcontrôleur 26 par un générateur de signaux d'horloge délivrant les signaux 27, commandant le temps d'ouverture de la caméra, et 28 donnant les tops de lecture des capteurs CCD à chaque
25 image. Dans ce cas, les liaisons figurées en pointillées 25', 46' et 49 sont également omises.

Dans une deuxième variante de ce mode de réalisation de l'invention, on peut omettre seulement le paramétrage de la transformation f , c'est à dire le
30 paramètre p , issu de la sortie 50 du microcontrôleur 26 et véhiculé par le signal 49.

Sur la figure 5, on a représenté une image 101 du paysage nocturne éclairé par les projecteurs d'un véhicule similaire à celle de la figure 1.

35 Les zones A, B, C et D de segmentation de l'image décrites à la figure 1 se retrouvent sur l'image 101 et

les limites desdites zones ont été ici représentées en traits discontinus.

D'autre part, la voie sur laquelle circule le véhicule est représentée par le pointillé 102.

5 Comme la zone D, située au delà de la ligne de limite 107 est peu intéressante pour le conducteur du véhicule et que, par conséquent, ses pixels ne nécessitent pas de traitement spécifique, et que d'autre part, les autres zones A, B et C sont séparées par des limites
10 sensiblement horizontales, il peut être intéressant d'approximer lesdites zones A, B, C et D par les zones A', B', C' et D', ces dernières étant séparées par des limites 105, 106, 108 qui sont des droites parallèles à l'axe des abscisses x.

15 Avec une segmentation de l'image de ce type, purement horizontale, une transformation des niveaux de gris plus simple peut être appliquée, ~~qui ne tient compte~~ que du niveau de gris initial g du pixel et de l'ordonnée y dudit pixel, et qui ne tient plus compte de l'abscisse x
20 du pixel comme dans la transformation f décrite précédemment.

A titre d'exemple, on peut appliquer une transformation h, qui à tout niveau de gris g d'un pixel ayant pour ordonnée y, associe un niveau de gris:

25
$$g' = h(g, y) = S(y)(1 - e^{-t(y)g}) \text{ ou}$$

$$g' = 1 \text{ si le résultat précédent est supérieur à } 1,$$

où S(y) et t(y) sont des paramètres qui caractérisent la transformation h et qui dépendent de l'ordonnée y (ou
30 numéro de ligne) du pixel sur lequel on applique ladite transformation.

A la figure 6, on a représenté un deuxième mode de réalisation de l'invention selon le principe évoqué ci-dessus.

On retrouve dans ce schéma l'essentiel des
35 éléments de la figure 3, portant des références

similaires, et on pourra se reporter à la description de ladite figure 3 pour la compréhension de ce schéma.

La différence principale entre ce schéma et celui de la figure 3 réside dans le fait que le présent schéma ne comprend plus de circuit compteur de colonnes. En effet, comme la transformation h de ce mode de réalisation ne tient pas compte de l'abscisse x du pixel en lequel elle est appliquée, il n'est pas nécessaire de connaître le numéro de la colonne dudit pixel.

En conséquence, le signal 48 est, dans ce mode de réalisation constitué de la concaténation du niveau de gris g , provenant du signal 25, avec l'ordonnée y , provenant du signal 45, et ledit signal 48 est numérisé sur $k+1$ bits. De même, le signal 51 contient dans ce mode de réalisation, le niveau de gris initial g d'un pixel, l'ordonnée y dudit pixel et un paramètre p servant à paramétrer la transformation h , ledit signal étant numérisé sur $k+1+n$ bits.

Une autre différence du présent schéma avec celui de la figure 3 vient du fait que la mémoire d'image 54 reçoit, sur son entrée 59, non pas le signal 46 contenant les numéros de ligne et de colonne de chaque pixel, mais le signal 45 (représenté ici par le pointillé 45') contenant uniquement le numéro de ligne du pixel, c'est à dire son ordonnée y .

Le fonctionnement de la LUT 52 est le même que celui décrit aux figure 4a à 4c et l'avantage principal de ce mode de réalisation est la diminution de la taille de la mémoire (référéncée 62 à la figure 4c) nécessaire pour stocker toutes les valeurs possibles de la transformation h .

Dans ce mode de réalisation, une même transformation h est appliquée à toute une ligne de l'image, ce qui donne après traitement une image encore de très bonne qualité puisqu'on ne peut pas voir apparaître

de limites de zones traitées.

En variante de ce mode de réalisation, on pourra également supprimer le module 57 contenant le microcontrôleur, ou seulement le signal 49 contenant le paramètre p.

Dans une autre variante de l'invention, on peut réaliser les calculs des transformation f ou h directement en temps réel (sans stockage des résultats pré-calculés dans une mémoire) à l'aide d'un processeur de signal numérique DSP, mais ce type de réalisation est plus coûteux.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits ci-dessus mais englobe toutes variantes.

Notamment, la mémoire de stockage des valeurs pré-calculées des transformation f ou h peut être constituée de plusieurs boîtiers de type ROM de faible capacité, reliés à des circuits d'adressage et de multiplexage qui conviennent, ou même elle peut être constituée de k' boîtiers de 1 bit reliés en parallèle et plus généralement, elle peut être constituée par toute mémoire adressable, rapide, susceptible de stocker durablement un tableau de constantes.

REVENDICATIONS

1 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne, notamment pour véhicule automobile, consistant, au moyen
5 d'un système de prise de vue sensible aux rayonnements visibles et non visibles, à saisir une image de la chaussée, éclairée par des projecteurs émettant dans les domaines du rayonnement visible et de l'invisible, ladite image étant constituée de pixels, points élémentaires
10 ayant chacun un niveau de gris, et à appliquer à ladite image une LUT, loi de transformation des niveaux de gris, caractérisé en ce que au moins deux lois de transformation différentes sont appliquées à des groupes de pixels distincts de l'image.

15 2 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne selon la revendication 1, caractérisé en ce que la chaussée est éclairée, d'une part par au moins un projecteur émettant dans le domaine du rayonnement visible, et d'autre part par au moins un projecteur
20 émettant dans le domaine du rayonnement infrarouge, le système de prise de vue comportant des moyens de saisie sensibles au domaine spectral du visible et à celui de l'infrarouge.

25 3 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'une loi de transformation des niveaux de gris spécifique est appliquée à chaque ligne de l'image saisie.

30 4 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'une loi de transformation des niveaux de gris spécifique est appliquée à chaque pixel de l'image saisie.

5 5 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 1, 2 ou 4, caractérisé en ce que la loi de transformation (f) associe, à chaque
35 niveau de gris g d'un pixel de l'image saisie, un niveau de gris g' tel que:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) (1 - e^{-k(x,y)g}) \text{ ou}$$

5 $g' = 1$ si le résultat précédent est supérieur à 1,
où x et y sont les coordonnées du pixel dans l'image et où
 $G(x,y)$ et $k(x,y)$ sont des paramètres caractérisant ladite
transformation et dépendant des coordonnées x et y du
pixel en lequel celle-ci est appliquée.

6 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne
selon l'une des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en
ce que la loi de transformation (h) associe, à chaque
10 niveau de gris g d'un pixel de l'image saisie, un niveau
de gris g' tel que:

$$g' = h(g, y) = S(y) (1 - e^{-t(y)g}) \text{ ou}$$

15 $g' = 1$ si le résultat précédent est supérieur à 1,
où y est l'ordonnée du pixel dans l'image et où $S(y)$ et
 $t(y)$ sont des paramètres caractérisant ladite
transformation et dépendant de l'ordonnée y du pixel en
lequel celle-ci est appliquée.

7 - Procédé d'amélioration de la vision nocturne
selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce
20 que la loi de transformation (f,h) des niveaux de gris
dépend d'un paramètre (p) de réglage, ledit paramètre
étant indépendant des coordonnées (x,y) du pixel en lequel
ladite loi de transformation (f,h) est appliquée.

8 - Dispositif d'amélioration de la vision
25 nocturne pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des
revendications précédentes, du type comprenant une caméra
(20) munie de capteurs CCD (21) et d'un module de pilotage
(22) desdits capteurs, caractérisé en ce qu'il comporte
une mémoire (62) contenant toutes les valeurs possibles,
30 prédéterminées, de la loi de transformation (f,h) des
niveaux de gris.

9 - Dispositif d'amélioration de la vision
nocturne selon la revendication 8, caractérisé en ce que
l'adresse de stockage de chaque valeur (g'), image par la
35 transformation (h) d'un niveau de gris (g) d'un pixel
situé aux coordonnées x et y de l'image, est formée par la

concaténation des signaux numériques suivants:

- le niveau de gris (g) du pixel, et
- l'ordonnée (y) dudit pixel.

5 10 - Dispositif d'amélioration de la vision nocturne selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'adresse de stockage de chaque valeur (g'), image par la transformation (f) d'un niveau de gris (g) d'un pixel situé aux coordonnées x et y de l'image, intègre dans sa formation l'abscisse (x) dudit pixel.

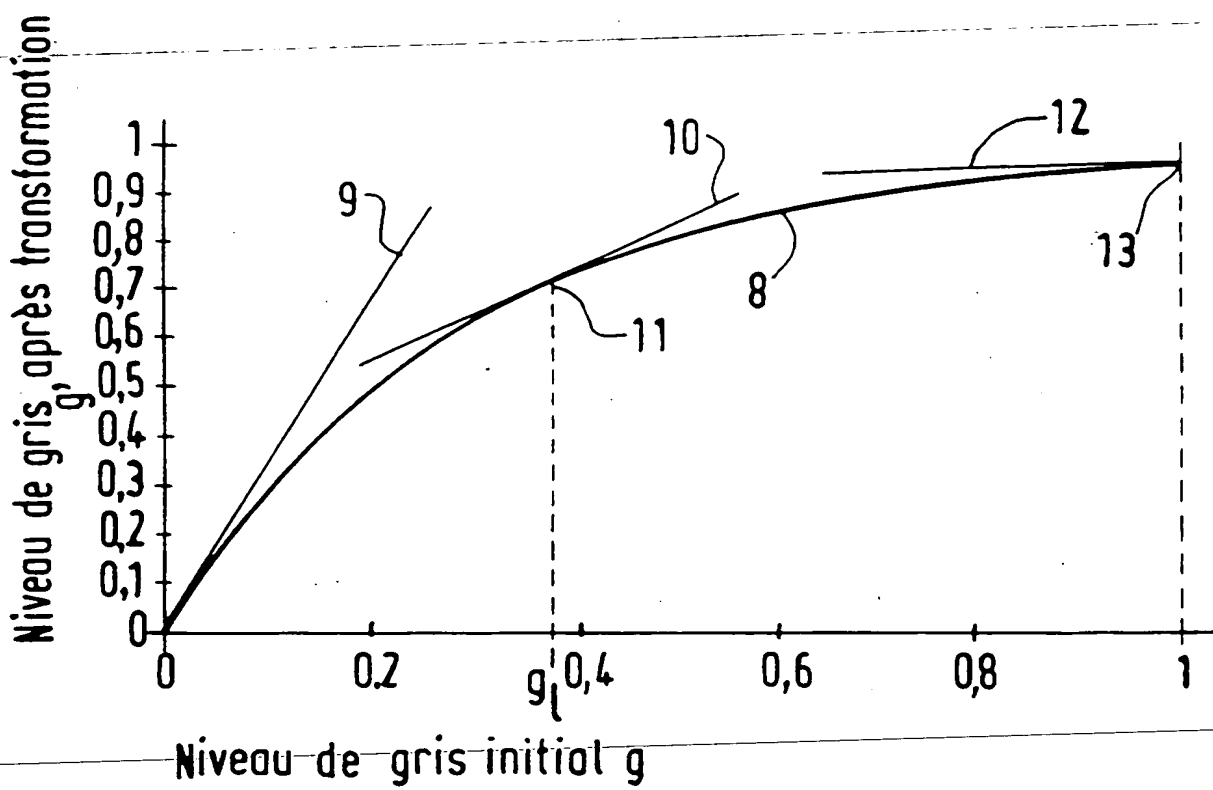
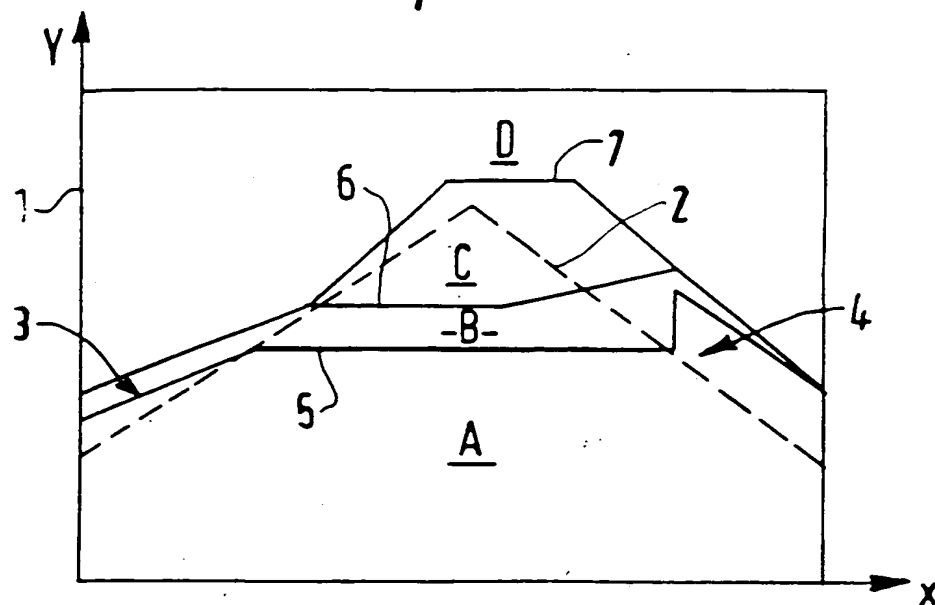
10 11 - Dispositif d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé en ce que l'adresse de stockage de chaque valeur (g'), image par la transformation (f,h) d'un niveau de gris (g) d'un pixel situé aux coordonnées x et y de l'image, intègre dans sa formation un paramètre (p) de réglage de ladite transformation.

15 12 - Dispositif d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 8, 9, 10 ou 11, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit compteur de lignes délivrant, pour chaque pixel de l'image, l'ordonnée (y) dudit pixel.

20 13 - Dispositif d'amélioration de la vision nocturne selon la revendication 12, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un circuit compteur de colonnes délivrant, pour chaque pixel de l'image, l'abscisse (x) dudit pixel.

25 14 - Dispositif d'amélioration de la vision nocturne selon l'une des revendications 8 à 13 prises dans leur dépendance de la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte un microcontrôleur (26) délivrant le paramètre (p) de réglage de la transformation (f,h).

30

$\frac{1}{4}$ 

2/4

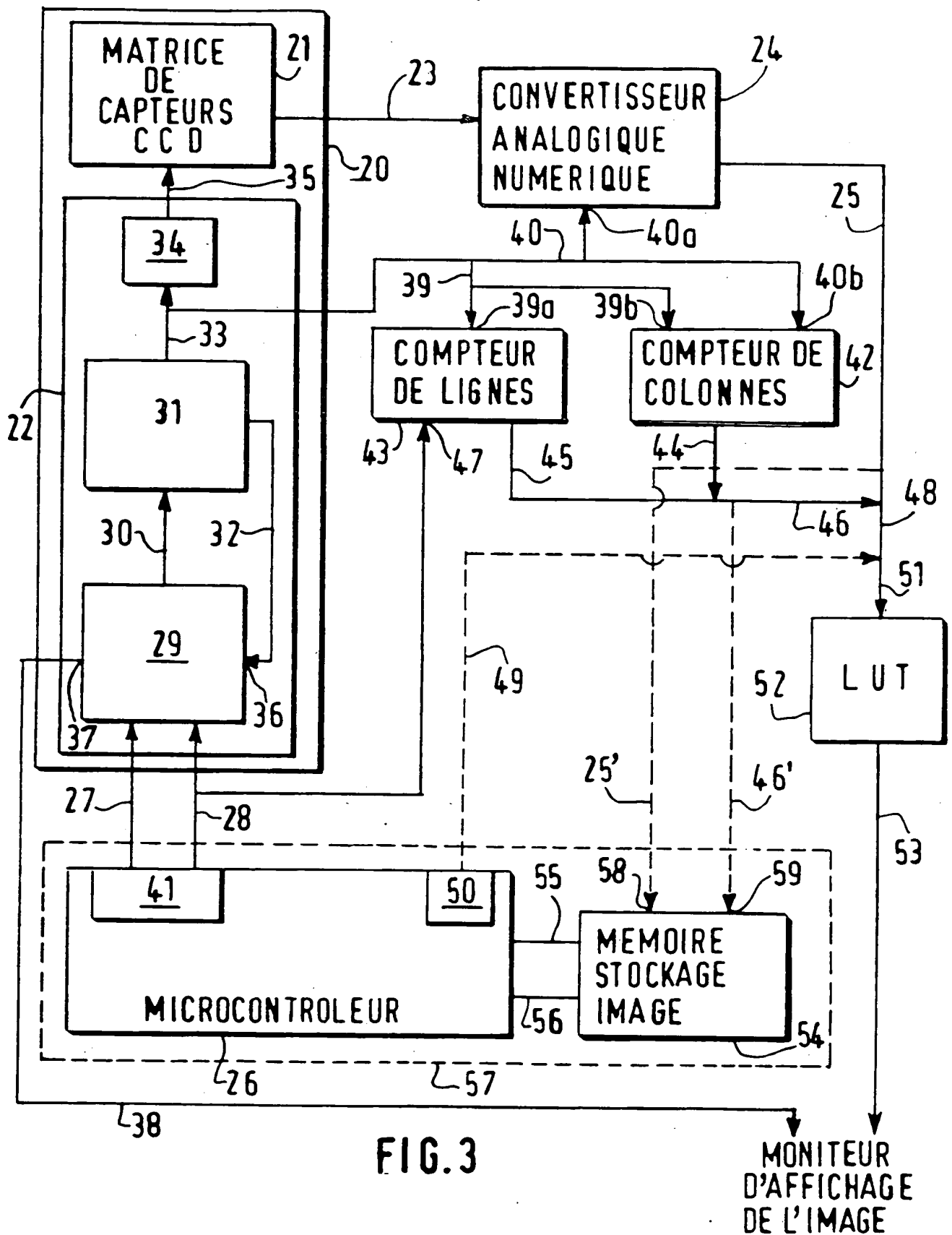


FIG. 3

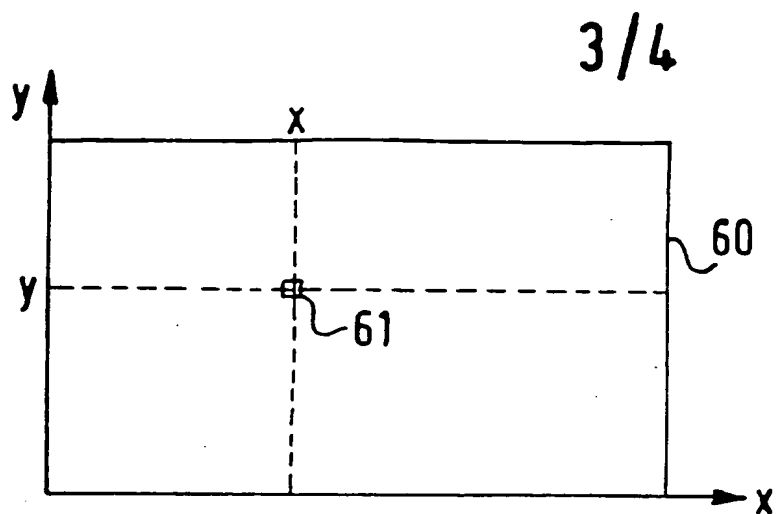


FIG. 4a

ADRESSE:

Donnée	g	y	x	p
Nombre de bits	k	l	m	n

FIG. 4b

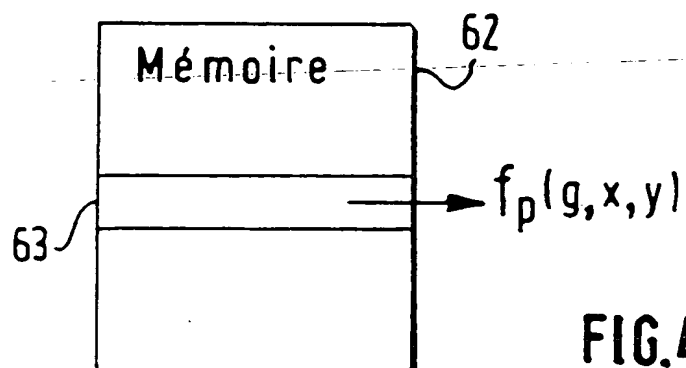


FIG. 4c

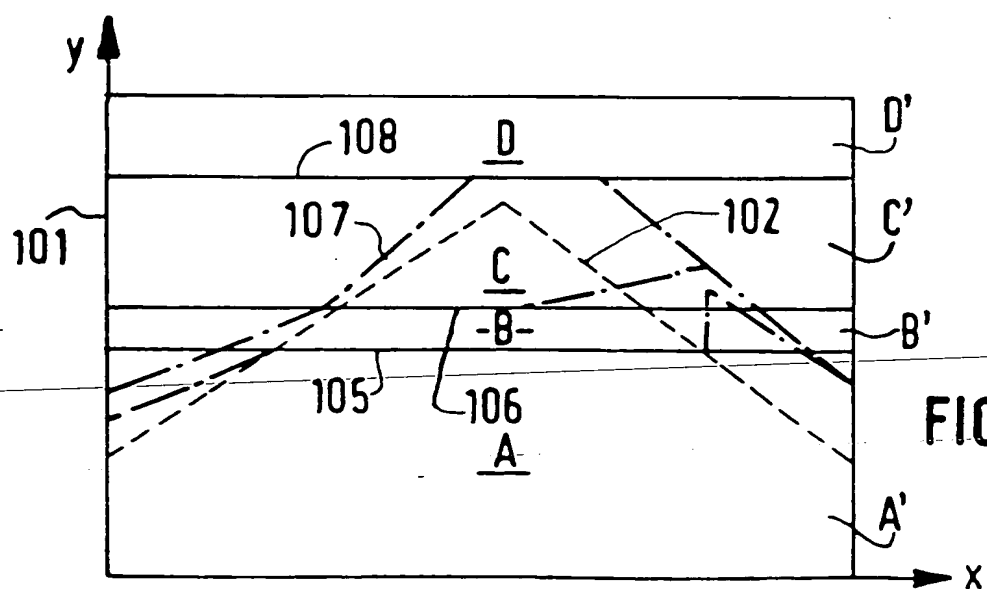


FIG. 5

4/4

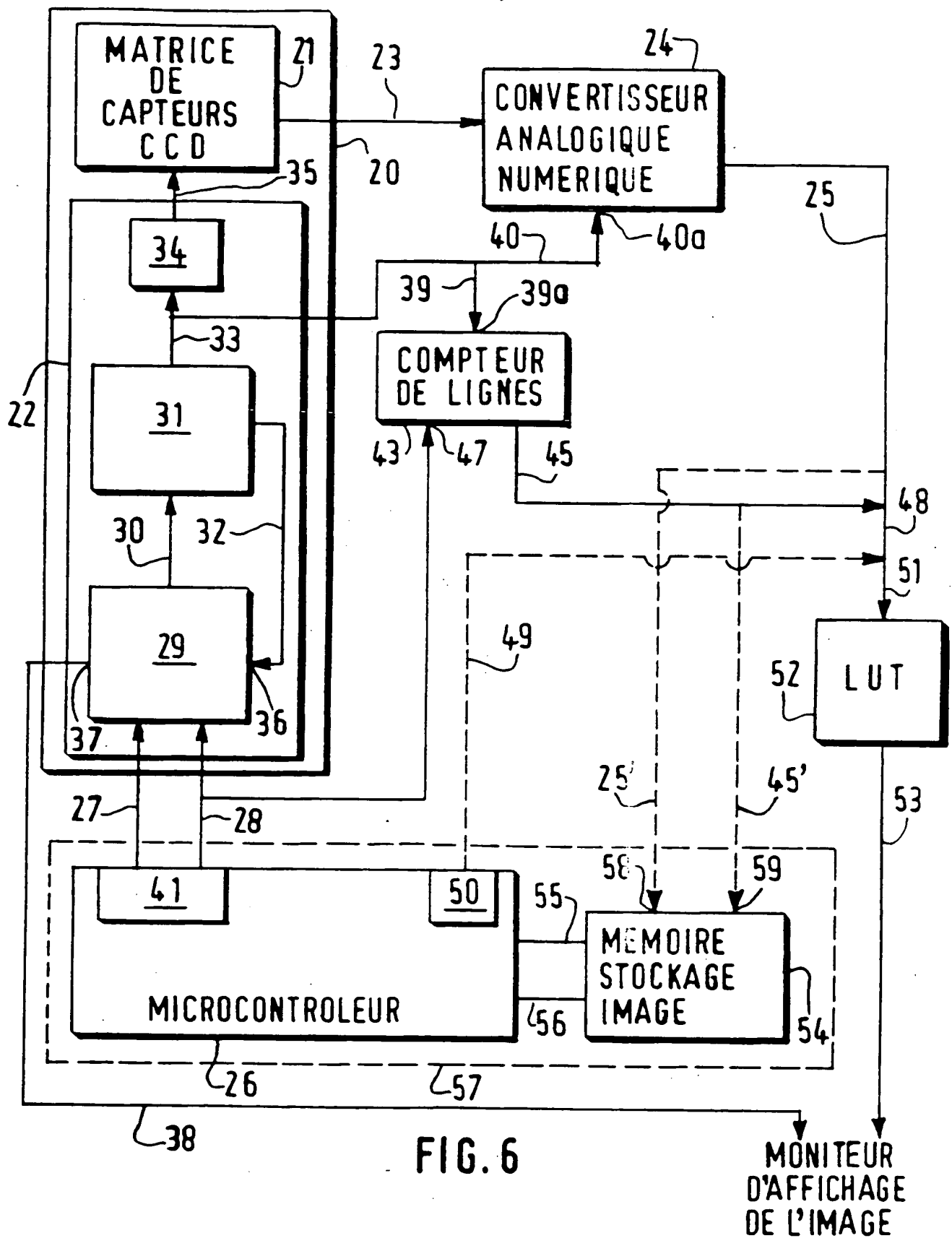


FIG. 6

MONITEUR
D'AFFICHAGE
DE L'IMAGE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 507961
FR 9412781

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	DE-A-40 32 927 (BOSCH GMBH ROBERT) 30 Avril 1992 * colonne 2, ligne 1 - ligne 52 *	1,2
Y	EP-A-0 403 268 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 19 Décembre 1990	1,2
A	* colonne 1, ligne 53 - ligne 30 * * colonne 3, ligne 53 - colonne 4, ligne 32 *	3,4,9, 10,12,13
D,A	EP-A-0 454 516 (RENAULT) 30 Octobre 1991 * colonne 3, ligne 58 - colonne 4, ligne 17 * * colonne 4, ligne 37 - ligne 48 *	1,2,8
A	US-A-4 829 381 (SONG WOO-JIN ET AL) 9 Mai 1989 * colonne 1, ligne 15 - ligne 57 *	1,4,14
A	EP-A-0 363 209 (MARGONI GEC LTD) 11 Avril 1990 * colonne 1, ligne 26 - ligne 47 * * colonne 2, ligne 40 - colonne 4, ligne 8 *	1,4,7,8, 14
A	US-A-4 570 788 (OZAKI TAKAYUKI) 2 Juin 1987 * colonne 1, ligne 53 - ligne 63 * * colonne 2, ligne 46 - colonne 7, ligne 58 *	1,4,7,8
-/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
30 Juin 1995		Wentzel, J
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non écrite P : document intercalaire</p> <p>I : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 01.82 (P04C01)

RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIREN° d'enregistrement
nationalde la
PROPRIETE INDUSTRIELLEétabli sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la rechercheFA 507961
FR 9412781

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	<p>MEDICAL AND BIOLOGICAL ENGINEERING AND COMPUTING, vol. 27, no. 5, Septembre 1989 pages 507-512, XP 000046396 LESZCZYNSKI K W ET AL 'DIGITAL CONTRAST ENHANCEMENT FOR ONLINE PORTAL IMAGING' * page 507, colonne de droite, ligne 24 - page 508, colonne de gauche, ligne 7 * * page 508, colonne de gauche, ligne 51 - colonne de droite, ligne 11 *</p> <p>-----</p>	1
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
30 Juin 1995		Wentzel, J
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention B : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande I : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

EPO FORM 1503 (01.82) (P04C11)

**JOB2074(F)A**

19. French Republic

National Institute of Industrial Property

Paris

11. Publication No. 2 726 144
Only for use for reproduction orders

21. National registration No. : 94 12781

51. Int Cl⁶ : H 04 N 5/30**12. Invention Patent Application**

22. Date of submission: 24-10-94

30. Priority:

43. Date of public release: 20-04-96 Bulletin 96/17

56. List of documents cited in the preliminary
research report: Refer to the end of this section.

60. References to other related national documents:

71. Applicant(s): Valeo Vision
Company Ltd. France.

72. Inventor(s): Pierre Albou

73. Holder(s):

74. Agent: Valeo Management Services

54. Process and device for the improvement of night vision, notably for motor vehicles.

57. The invention concerns a process of improvement of night vision, notably for motor vehicles, consisting by means of an image recording system sensitive to visible and non-visible rays, to capture an image of the roadway, illuminated by headlights emitting in the ranges of visible and/or non-visible wavelengths, the said image being constituted of pixels, elementary points each having a gray level and to apply the said image to an LUT, law of transformation of gray levels, characterized in that at least two different laws of transformation are applied to distinct groups of pixels of the image.

The invention also concerns a device for the implementation of the process of improvement of night vision previously described.

Application to aiding night vision for motor vehicles.

**InterLingua**

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

The present invention concerns a process and a device for the improvement of night vision, notably for motor vehicles.

It has been observed that long-range headlights are in practical terms very little used since their usage is limited to little-traveled roads due to their dazzling effect.

Furthermore, high beam lights having a limited range, do not allow one to clearly distinguish obstacles close to the vehicle, which leaves the driver very little time to react and undertake an evasive maneuver.

Therefore, systems have already been proposed, notably in document EP-A-O 505 237, to aid night vision which include headlight emitting rays of non-visible wavelengths (infra-red or ultraviolet), as well as cameras sensitive to these rays and which collect images of the vehicle's surroundings, these images being visualized in real time in the vehicle by the driver.

Notably, through document EP-A-O 454 516, an approach which combines the image coming from a camera sensitive to infrared rays to that of a camera operating in the visible range, to form a single image, is also known.

However, this type of image of the nocturnal surroundings does not provide a very natural perception of the environment and has zones of highly variable contrast and intensity.

It is known, in addition, that in a general way, CCD sensors (charge coupling devices, used in cameras for improving vision, produce images that are not faithful to the natural visual perception of the landscape. In effect, the perception of contrasts by the human eye is more logarithmic whereas CCD sensors are more or less linear.

This problem with CCD sensors is usually corrected by applying a gray level conversion table, LUT, or Look-Up Table, to the signal produced by the said sensors.

This principle can also be applied in order to improve the image contrast of the nocturnal surroundings as mentioned in document EP-A-O 454 516.

But these treatments do not give very satisfactory results due to the nature of the images of the nocturnal surroundings, which are very dark in zones that are not illuminated by the vehicle's headlights and very bright in the illuminated zones of the image.

A principal aim of the present invention is to solve the above-mentioned problems.

To this effect, the present invention concerns a process and a device for improving night vision, notably for motor vehicles, free of the disadvantages of the previous technique.



The process for improving night vision, notably for motor vehicles, according to the invention, consists, by means of an image recording system sensitive to visible and non-visible rays, to capture an image of the roadway, illuminated by headlights emitting in the visible and non-visible ranges of the spectrum, the said image being constituted of pixels, elementary points each having a gray level and apply a LUT, law of the transformation of gray levels, to the said image. It is notably characterized in that at least two different laws of transformation are applied to distinct groups of pixels of the image.

By using the process according to the invention, a specific treatment can be applied to different zones of contrast and light, very different¹ that are encountered in an image of nocturnal surroundings illuminated by the vehicle headlights, in such a way as to obtain, after the said treatment, an image which is close to that of natural human perception.

According to another aspect of the invention, the roadway is illuminated, on the one hand, by a headlight emitting in the visible range of the spectrum, and, on the other hand, at least one headlight emitting in the infrared range, the image recording system including an image capturing means that is sensitive to the visible and infrared ranges of the spectrum.

The infrared image recording system allows for the detection of objects in zones that are not usually illuminated by the high beam lights of vehicles.

In a variation of the invention, a headlight emitting in the ultraviolet range can also be used, associated with an image capturing means that is sensitive to the ultraviolet spectral range.

According to another characteristic of the invention, a law of transformation of specific gray levels is applied to each line of the captured image.

Due to this characteristic, the borders of the treated zones are not visible in the image obtained after treatment according to the invention.

According to another characteristic of the invention, the law of transformation associates, at each gray level g of a pixel of the captured image, a gray level g' such that:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) \cdot (1 - e^{-k(x, y)g}) \text{ or} \\ g' = 1 \text{ if the preceding result is greater than } 1,$$

where x and y are the coordinates of the pixel in the image and where $G(x, y)$ and $k(x, y)$ are parameters characterizing the said transformation and are dependent on coordinates x and y of the pixel in which the above is applied.

Thus, a specific treatment of each pixel of the image is applied.

According to another aspect of the invention, the law of transformation associates, at each gray level g of a pixel of the captured image, a gray level g' such that:

$$g' = h(g, y) = S(y) (1 - e^{-i(y)g}) \text{ or}$$

¹ IL Note - Meaning of source language unclear. Literal translation is provided.



$g' = 1$ if the preceding result is greater than 1,

where y is the ordinate of the pixel in the image and where $S(y)$ and $t(y)$ are parameters characterizing the said transformation and dependent on the ordinate y of the pixel to which this is applied.

Thus, a specific treatment is applied to each line.

According to another characteristic of the invention, the law of transformation of gray levels is dependent on a setting parameter, the said parameter being independent of the coordinates of the pixel to which the said law of transformation is applied.

The invention also concerns a device to improve night vision for the implementation of the process according to one of the characteristics described previously, of a type including a camera equipped with CCD sensors and a piloting module of the said sensors. The device is notably characterized in that it has a memory containing all possible values, which are predetermined, of the law of transformation of gray levels.

According to another aspect of the invention, the storage address for each g' value, an image, by the transformation h of a gray level g of a pixel located at coordinates x and y of the image, is formed by the concatenation of the following digital signals:

- the gray level g of the pixel, and
- the ordinate of the said pixel.

According to another aspect of the invention, the said address integrates the abscissa (x) of the said pixel during its formation.

According to another aspect of the invention, the said address integrates a setting parameter of the said transformation during its formation.

According to other characteristics of the invention:

- the said device includes a line counting circuit delivering, for each pixel of the image, the ordinate of the said pixel.
- the said device includes in addition a column counting circuit delivering, for each pixel of the image, the abscissa (x) of the said pixel.
- the said device includes a micro-controller delivering the setting parameter of the transformation.

Other characteristics and advantages of the invention will become clear in the following description of several possible ways of implementing the invention and with reference to the attached illustrations, among which:



InterLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

- Figure 1 schematically represents an image of nocturnal surroundings illuminated by the headlights of a vehicle emitting in the visible domain of the spectrum and that of the infrared;
- Figure 2 represents a transformation of gray levels of the image from Figure 1 in accordance with a possible form of execution of the invention;
- Figure 3 schematically illustrates the first form of execution of the invention;
- Figure 4a, 4b, and 4c illustrate the principle of the calculation of a new gray level by a LUT according to the first form of execution of the invention;
- Figure 5 schematically illustrates the treatment zones of an image of nocturnal surroundings, illuminated by the headlights of a vehicle, according to a second form of execution of the invention;
- Figure 6 schematically illustrates the second way of implementing the invention.

In Figure 1, image 1, of nocturnal surroundings illuminated by a vehicle's headlights that could be picked up by a camera of a visual aid system, is represented.

Such an image is composed of a certain number of pixels, elementary points of the image, which are located via the coordinates abscissa x and ordinate y , with each having its own gray level g .

Lane 2, which the vehicle is travelling on, is drawn with dots, bordered on the left by a flat zone 3 and on the right by an embankment 4.

Four zones of variable contrast and intensity can be distinguished in this image. Zone A is closest to the vehicle and is the one with the highest illumination from the high beam lights. This zone is bright and strongly contrasted, it is therefore not of much interest for visual aid systems since potential obstacles present in this zone are clearly visible to the naked eye.

Zone B corresponds to the edge of the range of the high beam lights. This zone is therefore dark and weakly contrasted. It is to be noted that line 5 of the limit between zones A and B do not have the same shape on the left side of the image, corresponding to a flat part 3 of the edge of lane 2, that on the right of the image corresponds to an embankment 4 located at the other edge of lane 2.

Zone C corresponds to the zone which is illuminated by infrared rays. It is dark but it can be more contrasted than zone B when obstacles are present. This zone is also that which is illuminated by the long-range headlights when they are activated. Line 6 is the limit between zones B and C and has more or less the same shape as line 5 which is the limit between zones A and B.

Zone D is the farthest from the vehicle and it is not illuminated by the headlights nor the turning signal lights since it is of little interest for driving. It corresponds more or less to the landscape, the sky and all that is beyond the roadway upon which the vehicle is travelling. It is therefore very dark and there can be significant noise in the signal delivered by the camera for the points of the image located in this zone.

The line of limit 7 between zones C and D more or less follows the lines of escape to the horizon of lane 2 with a significant gap towards the right of the said lane.



In the image, as described in Figure 1, two zones B and C therefore exist that are of interest to treat in order to increase contrast and brightness, since an anticipated detection of obstacles present in these zones can allow the driver to execute avoidance maneuvers more effectively.

Image 1 of Figure 1 can therefore be segmented into zones (A, B, C and D) of variable interest and as the contrast and brightness are very different in each of these zones, a treatment according to the invention consists in applying LUTs specific to each zone of the image in order to improve the driver's perception.

It could however be that the LUTs best adapted to the different zones are more or less different one from another, and that the application of the described treatment of an image like that of Figure 1 makes limits appear between the treated zones.

In this case, so that the limits between the zones are not visible, the treatment according to the invention can be applied on groups of pixels of smaller size than zones A, B, C and D described previously, in particular a LUT can be applied which is specific for each pixel of the image, for example.

In Figure 2, the curve 8 of the transformation of gray levels of a LUT is represented according to an example of the implementation of the invention.

This LUT transforms a gray level g , included in the implementation example between 0 and 1, of a pixel located at coordinates (x, y) of the image, at a gray level:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) (1 - e^{-k(x, y)g}) \text{ or,} \\ g' = 1 \text{ if the preceding result is greater than 1,}$$

where $G(x, y)$ and $k(x, y)$ are parameters that characterize transformation f and that, according to the invention, are dependent on coordinates (x, y) of the pixel to which the said transformation is being applied..

This type of transformation f , represented by curve 8, executes a logarithmic correction of the image by increasing the contrast more in the dark zones than in the bright zones, which gives the said image an appearance which is closer to the natural perception of the human eye.

The derivation of function f in relation to g ,

$$\frac{df}{dg} = k(x, y) G(x, y) e^{-k(x, y)g},$$

characterizes the modification of the contrast of the image.

In figure 2, straight line 9 is represented, which is tangential to curve 8 at the origin (0,0) of the location, and has a slope $k(x, y) G(x, y)$ which corresponds to the derivation of f in relation to g at the origin, that is to say for $g=0$.



InterLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

This line 9 has a slope greater than 1, which means that, in the dark zones of the image (those which have gray levels close to 0), the contrast is increased by transformation f .

A second line 10, tangential to curve 8 in 11, for a gray level corresponding to g^{*2} , has a slope (derivation f in relation to g for $g=g^*$) equals 1, which means that, in the zones of the image having a gray level equal to g^* , the contrasts are not modified by transformation f .

A third line 12, tangential to curve 8 in 13, which corresponds to the gray level $g+1$, has a slope (derivation of f in relation to g for $g=1$) far below 1, which means that, in the brighter zones of the image (those whose gray levels are close to 1) the contrast is lowered by transformation f .

The parameters $G(x, y)$ and $k(x, y)$ are dependent on coordinates (x, y) of the pixel to which the LUT is applied, a specific transformation f can be applied to each pixel of the image, whose parameters $G(x, y)$ and $k(x, y)$ characterize the improvement of the contrast for dark gray levels and determine the gray level g^* , from which the contrast is lowered.

Obviously, these parameters can be identical for several pixels of the image located at different x and y coordinates, in such a way as to make specific corrections to groups of pixels of the image.

Thus, according to the invention, the correction of gray levels is not performed in a uniform manner across the entire image, but is specific to each pixel or group of pixels in such a way as to optimize the said correction following the contrast and brightness of the said pixel or group of pixels.

In Figure 3, a form of execution of the transformation f described above is represented.

In this diagram, only the relationships useful in the understanding of the invention are represented. For example, the connections to supplies and to configuration pins of processors have not been mentioned.

A camera 20 equipped with a matrix of CCD sensors 21, of a size of 256x256 pixels, for example, is controlled by a piloting module 22 of CCD sensors.

The said camera 20 delivers an analog video signal which contains analog gray levels of pixels of the captured image and which is directed to the input of the analog-digital converter (ADC) 24, the said converter providing a digital signal 25 at the output containing the gray levels g , digitized on k bits.

If the CCD sensor is of 256x256 pixels in size and it operates at the video rate of 25 images per second, the frequency of the arrival of gray levels in the converter 24 is greater or equal to 1.6 MHz. A signal processor that can handle such a flow of data is therefore required.

The digital signal processors (DSP) are able to operate at rates greater than 1.6 MHz and in a variation of the invention which is not represented, such a processor could be used to execute transformation f by means of a program integrated in the said processor.

² IL Note - Illegible subscript symbol in the original text due to the poor quality of the copy.



In the case of Figure 3, the transformation f is performed via a hard-wired circuit which allows a slower and therefore less expensive processor to be used such as the microcontroller 26. The said microcontroller 26 operates at a slower rate than that typically supplied by a CCD sensor camera, it is adapted to control the said camera and to work on memorized sequences of images at a lower rate.

The microcontroller 26 supplies, from an output 41, a signal 27 controlling the period the camera is open and a signal 28 giving a reading pip of the CCD sensors for each image, the said signals 27, 28 being directed to the input of a first control module 29 of the pilot 22 of the CCD sensors.

The control module 29 has an output 30 directed to the input of a clock signal generator 31, the said generator returning the pips of the clock to control module 29 by means of a signal 32, issuing from an output of generator 31 and entering by an input 36 in the control module 29.

The said control module 29 also has an output 37 delivering video synchronization signals 38, and line synchronization and frame synchronization signals, the said signals being used to control a viewing monitor for the image, once it has been treated.

The clock signal generator 31 has a second output supplying clock signals 33, the said signals entering a final module 34 of the pilot of the CCD sensors 22. This module 34, whose output is directed to the input of a matrix of CCD sensors 21, serves as an interface with the said matrix executing, among other things, an adaptation of the impedance levels.

Together, modules 29, 31, and 34, previously described, make up the pilot 22 of sensors of the matrix 21.

The clock signals 33 from generator 31 are divided into two types of signal: a signal 39 that has a wave front (rising or descending) at each new line of the image, and a signal 40 with a wave front switching at each new pixel of a line.

The pixel clock signal 40 is hooked up to an input 40a of the analog converter by supplying a clock pip for each new pixel to the converter, the said clock pip triggering the digitization of a pixel.

The pixel clock signal 40 is also hooked up to input 40b of a column counter circuit 42. This circuit receives a clock pip for each new pixel and it increments, at each pip, a column counter. The information of the column number makes it possible to know the coordinates of abscissa x (referring to the notation used in Figure 1) of each pixel.

The column counting circuit 42 also receives the line clock signal 39 at its input 39b, which provides a clock pip with each new line of the image, the said clock pip triggering the setting of the column counter back to zero.

At the output of the column counting circuit 42, a signal 44 containing the abscissa x of a pixel, digitized on m bits is delivered.



The line clock signal 39 is also hooked up to the entry 39a of a line counting circuit 43. This circuit receives a clock pip for each new line of the image and it adds a line, with each of the pips to a line counter. This information on the line number makes it possible to know the coordinate y (referring to the notation used in Figure 1) of each pixel.

The line counting circuit 43 also receives at its input 47, the signal 28 issuing from the microcontroller 26, which supplies a clock pip for each new image, the said clock pip triggering the setting of the line counter back to zero.

At the output of line counting circuit 43, a signal 45 containing the ordinate y of a pixel, digitized on 1 bits is delivered.

The signals 44, containing the coordinate x on m bits and 45, containing the coordinate y on 1 bits are fused, in a known manner, into a signal 46 formed by the concatenation of the x and y data and digitized on m+1 bits.

Signal 46 is then concatenated with signal 25, produced by generating the analog-digital converter 24 and containing the gray level g digitized on k bits to form signal 48 containing the x, y, and g data digitized on k+m+1 bits.

The said signal 48 contains the information g, x, and y necessary for the application of the transformation f of the gray levels described in Figure 2.

However, an additional parameter p, produced by generating microcontroller 26, can be used in such a way as to parametrize transformation f. For example, a different treatment can be applied in the case where the image is taken at sundown and in the case where it is taken in the middle of the night.

A signal 49, issuing from the output 50 of microcontroller 26, contains the said parameter p, digitized on n bits and concatenates with signal 48, previously described, to form signal 51 containing the g, x, y and p data digitized on k+m+n+1 bits.

The said signal 51 is then applied at the input of a LUT 52 which transforms the initial gray level g into a new gray level g', following the previously described transformation f, the said gray level g' being digitized on k' bits in the signal of output 53 of LUT 52.

The principle of the calculation of the new gray level g' by LUT 52 can be better understood by referencing Figures 4a to 4c.

In Figure 4a, an image 60 is represented such that it could be obtained by the matrix of CCD sensors from a camera such as 20 described in Figure 3. On this image a particular pixel 61 is drawn, located in the image at the point of coordinates {x, y} and having a gray level g.



From these data one can, according to Figure 3, obtain a signal 51 containing the g , x , y , and p data digitized on $k+l+m+n$ bits. The said signal 51 serves to form, for each pixel of the image, an address according to the table in Figure 4b, that is to say by concatenating the k bits of gray level g of the said pixel with l bits of ordinate y , the m bits of abscissa x and the n bits of parameter p .

The address thus formed is sent to a memory 62 of a ROM type (Read Only Memory) represented in Figure 4c. At the corresponding address 63 of the said memory, the value of the image by the transformation f (parametrized by p) of the g , x , y , and p data contained in the address, $f_p(g, x, y) = g'$ is stored.

The memory 62 is of a sufficient size to contain the values of images by the transformation f of all the possible combinations of the g , x , y , and p data.

The gray level g' , digitized on k' bits, constitutes the output signal 53 of LUT 52 in reference to Figure 3.

Figure 3 illustrates an image storage memory 54, the said memory being of a RAM type (Random Access Memory) intended to memorize the frames of the image in such a way that the microcontroller 26, working at a lower rate than that of the video signal emitted by the matrix of the CCD sensors, can work on the frames of memorized images at a lower rate.

The said image memory 54 receives at its input 58 the signal 25 (represented here by the dotted 25') containing the gray level g of each pixel just as it is captured by the matrix of CCD sensors 21. In addition, it receives, at its input 59, the signal 46 (represented here by the dotted 46') containing the line and column numbers of the said pixel, that is to say its x and y coordinates (according to the notation in Figure 4a).

In addition, memory 54 is hooked up to microcontroller 26 by means of a data bus 55, conveying the gray levels g of each pixel and an address bus, conveying the line and column numbers of each pixel.

At the output of the overall circuit described in Figure 3, is signal 53, containing the transformed gray levels g' digitized on k' bits, and video synchronization signals 38. These signals 53, 38 can then be sent to a viewing monitor after digital-analog conversion of gray levels g' .

In a variation of the form of execution for this invention presented in Figure 3, module 57, drawn with dots, can be omitted, by replacing microcontroller 26 with a clock signal generator delivering signals 27 controlling the time period the camera is open, and 28 giving reading pips of the CCD sensors with each image. In this case, the relationships drawn with dots 25', 46', and 49 can all be also omitted.

In a second variation of the implementation method for this invention, only the parametrizing of transformation f , that is to say parameter p , issuing from output 50 of the microcontroller 26 and conveyed by signal 49 is omitted.

Figure 5 illustrates an image 101 of nocturnal surroundings illuminated by headlights of a vehicle similar to that of Figure 1.



InterLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

Zones A, B, C, and D of the segmentation of the image described in Figure 1 are found in image 101, the limits of the said zones have been represented here with discontinuous lines.

In addition, the lane in which the vehicle is traveling is represented by the dotted area 102.

Since zone D, located above the limit line 107 is of little interest for the driver of the vehicle and that, consequently, its pixels do not require a specific treatment, and that additionally, the other zones A, B, and C are separated by more or less horizontal limits, it could be worthwhile to approximate the said zones A, B, C and D with zones A', B', C', and D', the latter being separated by limits 105, 106, 108 which are parallel lines at the axis of abscissa x.

With a segmentation of the image of this type that is purely horizontal, a simpler transformation of gray levels can be applied, that does not take the initial gray level of the pixel and the ordinate y of the said pixel into account and which no longer takes abscissa x of the pixel into account as in the transformation previously described.

As an example, a transformation h can be applied, which for any gray level g of a pixel having an ordinate y which is associated with a gray level:

$$g' = h(g, y) = S(y) (1 - e^{-t(y)g}) \text{ or} \\ g' = 1 \text{ if the preceding result is greater than 1,}$$

Where S(y) and t(y) are parameters which characterize the transformation h and which are dependent on ordinate y (or line number) of the pixel to which the said transformation is applied.

Figure 6 illustrates a second form of execution of the invention according to the principle explained above.

In this diagram, the essential elements of Figure 3 are illustrated, with similar references and one can refer to the description of the said Figure 3 in order to understand the diagram.

The principal difference between this diagram and Figure 3 lies in the fact that the present diagram no longer has the column counting circuit. In effect, since the transformation h of this form of execution of the invention does not take abscissa x of the pixel into account, as it is applied, it is no longer necessary to know the column number of the said pixel.

Consequently, the signal 48 is, in this application, constituted by the concatenation of gray level g, coming from signal 25, with ordinate y, coming from signal 45 and the said signal 48 is digitized on k+1 bits. Likewise, signal 51 contains, in this application, the initial gray level g of a pixel, the ordinate y of the said pixel and a parameter p serving to parametrize transformation h, the said signal being digitized on k+l+n bits.

Another difference of the present diagram from that of Figure 3 comes from the fact that the image memory 54 receives, at its entry 59, not signal 46 containing the line and column numbers of each pixel, but signal 45 (represented here by 45', drawn with dots) only containing the line number of the pixel, that is to say, its ordinate y.



InterLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

The functioning of LUT 52 is the same as that described in Figures 4a and 4c and the principal advantage of this form of execution of the invention is the reduction in the size of the memory (reference 62 in Figure 4c) required to store all the possible values of the transformation h. According to this implementation method of the invention, the same transformation h is applied to an entire line of the image, which still produces a high quality image after treatment since the limits of the treated zones do not appear.

By varying this implementation method of the invention, one could also eliminate module 57 containing the microcontroller or only signal 49 containing parameter p.

In another variation of the invention, calculations of transformation f or h can be made directly in real time (without storing pre-calculated results in a memory) by means of a digital signal processor DSP, but this type of application is more costly.

Obviously, the present invention is not limited to the implementation examples described above but encompasses all variations.

Notably, the storage memory for pre-calculated values of transformation f or h can be constituted of several cases of ROM of low capacity hooked up to address and multiplex circuits which are appropriate, or even it could be constituted of k cases of 1 bit hooked up in parallel and more generally, it could be constituted of all addressable memory, rapid and capable of storing a table of constants in a permanent manner.

CLAIMS

- 1- Process for the improvement of night vision, notably for motor vehicles, consisting, by means of a filming system sensitive to visible and non-visible rays, to capture an image of the roadway, illuminated with headlights emitting in the visible and non-visible domains of the spectrum, the said image being constituted of pixels, elementary points each with a gray level, and to apply to the said image a LUT, law of transformation of gray levels, characterized in that at least two different laws of transformation are applied to distinct groups of pixels of the image.
- 2- Process for the improvement of night vision according to Claim 1, characterized in that the roadway is illuminated, on the one hand, by at least one headlight emitting waves in the visible range of the spectrum and on the other hand, by at least one headlight emitting waves in the infrared range of the spectrum, the filming system equipped with the image capturing means that is sensitive to the visible spectral range and that of infrared.
- 3- Process for the improvement of night vision according to Claim 1 or 2, characterized in that a specific law of transformation of gray levels is applied to each line of the captured image.
- 4- Process for the improvement of night vision according to Claim 1 or 2, characterized in that a law of transformation of gray levels is applied to each pixel of the captured image.
- 5- Process for the improvement of night vision according to any one of Claims 1, 2 or, 4, characterized in that the law of transformation (f) associates, to each gray level g of a pixel of a captured image, a gray level g' such that:

$$g' = f(g, x, y) = G(x, y) (1 - e^{-k(x, y)g}) \text{ or} \\ g' = 1 \text{ if the preceding result is greater than 1,}$$

where x and y are the coordinates of the pixel in the image and where G(x, y) and k (x, y) are parameters characterizing the said transformation and are dependent on coordinates x and y of the pixel in which the above is applied.

- 6- Process for the improvement of night vision according to any one of Claims 1, 2, or 3, characterized in that the law of transformation (h) associates, to each gray level g of a pixel of the captured image, a gray level g' such that:

$$g' = h(g, y) = S(y) (1 - e^{-t(y)g}) \text{ or} \\ g' = 1 \text{ if the preceding result is greater than 1,}$$

Where S(y) and t(y) are parameters which characterize the transformation h and which are dependent on ordinate y (or line number) of the pixel to which the said transformation is applied.



Int rLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

- 7- Process for the improvement of night vision according to Claim 5 or 6, characterized in that the law of transformation (f, h) of gray levels is dependent on setting parameter (p), the said parameter being independent of coordinates (x, y) of the pixel to which the said law of transformation (f, h) is applied.
- 8- Device for the improvement of night vision for the execution of the process according to one of the preceding claims, of a type including a camera (20) equipped with CCD sensors (21) and a piloting module (22) for the said sensors, characterized in that it has a memory (62) containing all the possible values of the law of transformation (f, h) of gray levels, which are predetermined,.
- 9- Device for the improvement of night vision according to Claim 8, characterized in that the storage address of each value (g'), image through the transformation (h) of a gray level g of a pixel located at coordinates x and y of the image is formed by the concatenation of the following digital signals:
 - the gray level (g) of the pixel, and
 - the ordinate (y) of the said pixel.
- 10- Device for the improvement of night vision according to Claim 9, characterized in that the storage address of each value (g') image³ through the transformation (f) of a gray level (g) of a pixel located at coordinates x and y of the image, integrates in its formation the abscissa (x) of the said pixel.
- 11- Device for the improvement of night vision according to either Claim 9 or 10, characterized in that the storage address of each value (g'), image through the transformation (f, h) of a gray level (g) of a pixel located at coordinates x and y of the image, integrates in its formation a parameter (p) of the setting of the said transformation.
- 12- Device for the improvement of night vision according to any one of Claims 8, 9, 10 or 11, characterized in that it includes a line counting circuit delivering the ordinate (y) of the said pixel for each pixel of the image.
- 13- Device for the improvement of night vision according to Claim 12, characterized in that in addition it includes a column counting circuit delivering, for each pixel of the image, the abscissa (x) of the said pixel.
- 14- Device for the improvement of night vision according to Claims 8 to 13 on condition of their dependence on Claim 7, characterized in that it has a microcontroller (26) delivering the setting parameter (p) of the transformation (f, h).

³ IL Note - There seems to be a problem with the usage of this word in French: when used as a verb or a noun, the sentence is not grammatically correct, nor does it make much sense, there may be an accent missing, similarly in the paragraph below.



Figure Legends⁴:**Fig. 2**

Left: Gray level after transformation
Bottom: Initial gray level

Fig. 3

21: Matrix of CCD sensor
24: Analog-digital converter
39a: Line counter
39b: Column counter
51: LUT
26: Microcontroller
54: Image storage memory
8: Image viewing monitor

Fig. 4b

Address
Datum
Number of bits

Fig. 4c:

Memory

Fig. 6:

21: Matrix of CCD sensors
24: Analog-digital converter
39: line counter
52: LUT
26: Microcontroller
54: Image storage memory
Image viewing monitor

⁴ IL Note - Please refer to numbered original for all figure legends.



Annex:

Preliminary Research Report

established on the basis of the latest claims submitted before the beginning of the research.

French Republic

National registration 2726144

National Institute of Industrial Property

FA 507961

FR9412781

Documents considered pertinent

Category	Citation of document indicating the interested parties , in case of need	Claims concerning the application under examination
Y	DE-A-40 32 927 (Bosch GMBH Robert) April 30, 1992 column 2, line 1 -line 52	1,2
Y	EP-AO 403 268 (Matsushita Electric Industrial Co. Ltd.) December 19, 1990 Column 1, line 53 - line 30 Column 3, line 53 - column4, line 32	1,2 3,4,9,10,12,13
D,A	EP-A_O 454 516 (Renault) October 30, 1991 Column 3 , line 58 - column 4 line 17 Column 4, line 37 - line 48	1,2,8
A	US-A-4 829 381 (Song Woo-Jin et al) May 9, 1989 Column 1, line 15-line 57	1,4,14
A	EP-A_O 363 209 (Marconi GEC Ltd.) April 11, 1990 Column 1, line 26-line 47 Column 2, line 40-column 4, line 8	1,4,7,8,14
A	US-A-4 670 788 (Ozaki Takayuki) June 2, 1987 Column 1, line 53 - line 63 Column 2, line 46 - column 7, line 58	
A	Medical and Biological Engineering and Computing Vol. 27 no. 5, September, 1989, pages 507-512, XP 000046396 Leszczynski KW et al "Digital contrast enhancement for online portal imaging" page 507, right column, line 24- page 508, left column, line 7 Page 508, left column, line 51-right column line 11	1

Research performed on June 30, 1995


InterLingua
 (310)792-3636/Fax(310)792-3642

Examiner: Wentzel, J.

Categories of cited documents:

- X: Particularly pertinent in itself
- Y: Particularly pertinent in combination with another document of the same category
- A: Pertinent in terms of at least one claim or general technological background
- O: Unwritten disclosure
- P: Insert
- T: Theory or principle forming the basis for the invention
- E: Patent document dated earlier than the submission date and was unpublished at the time of submission.
- D: Cited in the application
- L: Cited for other reasons
- &: Member of the same family, corresponding document



InterLingua

(310)792-3636/Fax(310)792-3642

04/19/1999 03:40
04/15/1999 17:05

310-792-3640

INTERLINGUA
COPIE SMART

PAGE 19
PAGE 02

JOB 2074(F) A

CERTIFICATION

I, Janet Stewart, hereby declare that I am a professional translator experienced in translating patents and technical publications, and that the foregoing is a true and accurate translation of "Procédé et dispositif d'amélioration de la vision nocturne, notamment pour véhicule automobile" to the best of my knowledge.

Janet Stewart
JANET STEWART